

-제3회 柱岩賞 受償 記念-

持續 가능한 발전을 위한 資源循環社會 構築

*李 康 仁

21C프론티어연구개발 자원재활용기술개발사업단

Establishing the Closed Loop Resources Society for Sustainable Development

*Kang-In Rhee

Resources Recycling R&D Center of the 21C Frontier R&D Program

1. 지속가능한 발전으로 전환

산업생산과 소비활동으로 폐기물의 발생은 피할 수 없다. 다만 어떻게 하면 발생을 최소화하고 이를 완벽하게 재활용하여 폐기물이 없는 사회를 만들어 깨끗하고 살기 좋은 지구환경을 만들면서 지속가능한 발전을 이룩하느냐 하는 것이 우리의 명제인 것이다. 아마 불과 한 세대 전의 대기, 수질, 토양에 비해서도 오염 정도가 심화되고 생태계에도 이상 현상이 늘어난 것을 쉽게 관찰할 수 있을 것이다. 산업의 성장 지향적인 면만 추구하여 개발위주로 인한 자원고갈의 위협과 환경의 오염으로 지속가능한 발전을 저해시키고 인류의 삶의 질도 상향 곡선을 그리지 못하고 있다. 이런 환경오염과 자원고갈의 상황을 동시에 극복할 수 있는 해결책이 바로 급세기의 화두가 되고 있는 자원순환형 시스템의 구축, 즉 자원의 순환적 이용을 극대화하고자 하는 것이다. 채취-생산-소비-폐기로 이어지는 기존의 자원흐름을 폐기 후에 다시 생산과 소비과정으로 연계시켜 더 이상의 자원이 버려지지 않고 사회의 시스템 밖으로 자원이 흘러 나가지 않는 폐기물의 재료화를 이루는 것이다. 이 자원순환형 사회가 완성되면 건강한 국토, 쾌적

한 환경 조성에서 지속가능한 경제발전이 구현되어 삶의 질을 제고시킬 수 있다.

우선 전반적인 국내 폐기물의 현황을 보면 사업장폐기물의 경우, 1일 11만2천5백톤이나 같은 성상으로 일정하게 배출되기 때문에 생활폐기물에 비해 재활용이 비교적 용이하며 재활용율도 80%로 35% 정도 더 높다. 그러나 생활폐기물은 1일 4만8천4백톤으로 그 중에서 음식물 쓰레기가 27.3%를 점유하고 있으며 재활용율도 환경선진국보다 낮은 편이다. 다행히 2005년부터 음식물 쓰레기의 직매립이 금지됨에 따라 분리수거가 보다 철저히 이루어지면서 가연성 생활폐기물의 연료화(RDF)¹⁾ 사업이 탄력을 받게 되었으며 2007년부터 MBT²⁾ 시범 사업이 추진되면 생활폐기물의 연료화가 더욱 활성화되어 매립 부담이 줄어들 것으로 예상된다. 단일 품목으로 발생량이 제일 많은 건설폐기물은 1일 12만9천6백톤이나 되고 재활용율도 높게 보고되고 있으나 실질재활용이라 불리는 순환골재로의 자원화는 15%정도로 낮은 수준에 머무르고 있다. 몇가지 주요 폐기물의 경우, 폐캔이나 폐지는 분리수거 인프라 및 경제적인 재활용 기술이 개발되어 50-70%에 이르는 재활용율을 보이고

* 2006년 12월 30일 접수, 2007년 2월 3일 수리

* E-mail: kirhee@recycle.re.kr

¹⁾RDF: Refuse Drived Fuel

²⁾MBT: Mechanical and Biological Treatment

*주: 본 기고문은 2006년 11월 16일 아산 호서대학교에서 개최된 한국자원리사이클링학회 정기총회에서 당 학회 柱岩賞 수상시 발표한 특별강연 내용입니다(Note: It is a part of script of the author's lecture in memory of award of the Juam Prize in the 2006 KIRR annual meeting).

정도의 재활용율을 나타내고 있다. 이외에도 산업오니, 특수 지정폐기물은 주로 단순매립에 의존하는 경우가 많아서 그 유해성이 시비가 되고 있어 안전한 재활용 방법이 요구되고 있다.

한편 세계적으로 11위라는 과학국가의 반열에 오르면서 과학기술의 사회적인 수요와 책임이 증대되고 그 중에서도 삶의 질 향상에 부응하기 위한 공공복지 기술개발에 대한 절실한 요구가 확대되고 있다. 이에 따라 과학기술 정책의 기본방향과 중점추진과제에도 변화의 패러다임이 불고 있는 것이다. 미래성장 엔진을 창출하기 위하여 국가전략 과학기술의 선택적 집중 개발이 필요하고 그 중 한축을 지속가능한 발전 사회구현을 위한 기술개발이 담당하고 있다. 특히 IT강국으로 도약하면서 반도체, LCD를 비롯한 몇 가지의 전기전자 제품들이 세계 1위라는 위치를 고수하기 위해 끊임없이 노력을 경주하고 있다. 이를 위해서 여러 가지 소재 개발도 필요하지만 사용 후 제품들에 대한 처리가 무역에 연계가 되면서 중요해지고 있다. 바로 환경과 경제가 상생하여야 진정한 산업경쟁력을 가질 수 있는 것이다.

이러한 배경에서 과학기술부와 환경부가 공동으로 자원재활용기술개발사업을 2000년부터 추진하게 되었으며 'Green Korea, Wealthy Korea'라는 모토 아래 자원순환형 사회구축을 실현하고자 친환경 재활용기술의 완성을 주장하고 있다. 지속가능한 발전을 위한 환경보전과 자원확보를 동시에 만족시키는 폐기물의 재자원화를 하되 실용화로 연계시킬 수 있도록 기술을 개발하고 있다. 자주 논의되고 있는 Reuse, Reduce, Recycle의 3R의 개념에 친환경제품설계(DfE)³⁾, 친환경제품(Eco Product), 청정재활용기술(Cleaner Recycling Tech.)까지 포함하고 있으며 환경을 고려하는 적극적인 마인드가 필수적임을 알 수 있다. 세계적으로도 21세기에는 바이오산업, 정보산업과 더불어 환경산업이 유망 분야로 부각되고 있으며, 국내 환경시장은 환경서비스업, 환경자원이용업 및 환경설비업 등을 포함하여 약 14조원에 이를 것으로 예상된다. 그렇지만 자원의 해외 의존도가 75% 이상인 국내의 현실에서 재자원화 사업은 환경산업의 근간보다는 자원의 확보 차원에서 전략적으로 추진해야 할 과제인 것이다. 더욱이 처녀자원을 이용하는 산업과 비교하여 에너지 소비를 30~90%, 환경부하를 10~20%

정도 감소시킬 수 있어 생산성을 획기적으로 높일 수 있다. 이와 같은 강점에도 불구하고 재생품에 대한 반감 및 우리 사회에 만연된 님비(NIMBY)⁴⁾ 현상과 같은 걸림돌로 인해 재활용에 대한 그 진가를 발휘하지 못하고 있다. 정부 당국도 재활용 기술을 활성화시키려는 정책을 제시하지만, 중요한 이해당사자에 대한 설득에 있어서는 구습에서 벗어나지 못하고 있는 것이다. 그러므로 자원순환 기술개발로 자원의 재생산, 에너지 회수, 자원순환을 제고 및 그 산업의 활성화를 이룸으로써 부가가치 창출, 고용증대, 산업경쟁력 강화를 통해 선진국가 대열에 동참할 수 있다는 것으로 해결하여 한다. 이러한 길로 나아가야만 쾌적한 환경에서 질 높은 삶을 누릴 수 있는 것이다.

사회의 패러다임이 변화함에 따라 재활용의 개념이 바뀌는 것은 당연한 이치이며 이에 순응해야 하는 것도 하나의 의무라 생각한다. 그리고 후손에게 경제, 사회, 생태학적인 번영을 누릴 수 있는 기회를 물려주어야 하는 것이다. 이러한 변화의 물결은 자원순환경제사회의 구축이며 이를 위해서는 몇 가지 적절하고 효율적인 정책이 추진되어야 한다. 우선 재활용의 의무를 생산자에게 보다 적극적으로 부여하는 생산자책임재활용제도(EPR)이다. 현재는 포장용기와 일부 제품에 대해 생산자에게 의무재활용량을 고시하고 이를 이행하지 못 할 경우에는 부족분에 대한 벌과금을 부과시키고 있지만 점차적으로 많은 품목에 대해 확대되어야 한다. 경제적인 부담의 분배에서의 개선할 점은 있지만 기존의 부담금 또는 예치금보다 자원순환경제사회에 걸맞는 제도이다. 둘째로 전체 재활용 비용의 50에서 80%까지가 물류 및 선별에 사용되므로 재활용품의 분리배출 및 수거체계의 효율화가 중요하다. 매립 또는 소각 대상 폐기물을 줄일 뿐만 아니라 재활용품의 이동거리 단축과 물류비용 절감에 대한 방안을 마련해야 한다. 셋째는 재활용품의 흐름에 대한 정확한 분석과 진단이 이루어져야 한다. 이를 위한 정보체계 구축과 보급으로 재활용품 유통구조의 선진화가 되어 가격과 안정적인 수요기반이 확보되는 것이다. 넷째, 과거의 단순 재활용업의 영세성과 폐쇄적인 면에서 탈피하여 하나의 산업으로 발전시켜야 한다. 금융지원, 정책반영 등을 통한 재활용산업의 활성화 방안이 마련되어야 한다. 마지막으로 재활용제품의 구매, 인증제도가 확대되어 제품에 대한 인식이 제고되어 우선구매, 녹색시장 형성에 자발적인 동참이 생겨야 한다.

³⁾DfE: Design for the Environment

⁴⁾NIMBY: Not In My BackYard

2. 자원순환기술의 개발

전술한 바와 같이 과거의 재활용의 개념이 자원의 순환적 이용으로 전환이 됨에 따라 재활용기술도 완벽한 자원순환기술로 변모가 되고 있다. 사후처리에서 친환경 공정뿐만 아니라 재활용이 용이하도록 제품의 설계, 친환경 소재의 사용 등의 사전오염을 예방하는 것까지 포함하고 있다. 필요한 것만 선택적으로 회수하여 이용하던 전통적인 재활용에서 전반적으로 자원을 순환 이용하는 것으로 변모하고 있다.

우선 폐플라스틱 재활용은 현재까지 환경적인 부담이 크나 경제적인 편익이 별로 없어 자원순환기술의 개발 당위성이 시급한 예이다. 플라스틱으로 사용되는 제품의 종류가 다양하고 사용 후 배출경로도 복잡한 데다 그 자체의 가치가 다른 소재에 비해 떨어지는 연유로 자원순환이 잘 되지 않고 있다. 주로 포장, 용기류로 사용되어 이물질의 오염이 일반화되고 구성 자체가 복합 재질로 이루어져 있어 하나의 분리기술로 같은 재질의 플라스틱만을 골라내는 것은 효율적이지 못하고 경제성도 떨어진다. 따라서 몇 가지 분리, 선별기술의 조합이 필요하다.

생활계에서 수거되는 플라스틱 포장, 용기류에 대해서 파쇄과정을 거치지 않고 일차적인 선별기술로는 근적외선을 이용하여 PP, PS, PE, PET, PVC 등으로 자동 인식한 후 공기로 토출하는 방법이다. 이 기술은 ET와 IT의 융합기술이며 재질별로 95% 이상의 순도를 얻을 수 있고 분리 속도도 수선별에 비해 높다. 또한 수선별을 대체할 수 있어 인건비의 절감뿐만 아니라 열악한 작업 환경에 적합하다. 그러나 일차 선별 후에도 50% 정도가 종말품으로 배출되고 있으며 이 중에는 각종 금속류, 종이 등의 이물질과 50% 이상의 재활용 가능한 플라스틱이 있다. 이를 풍력과 비중을 이용하여 PO계의 가벼운 것과 PET, PVC와 같이 무거운 것으로 분리, 선별할 수 있다. 이 방법은 수세, 비중분리, 건조를 비교적 빠른 시간에 할 수 있으며 에너지를 적게 사용하는 장점이 있다. 다만 PO계에는 PP, PS, PE가 함께 존재하기 때문에 화학적 재활용의 한 방법인 유화의 원료로 사용할 수 있다. 그리고 무거운 것을 마찰하전형 정전선별법으로 PET와 PVC를 각각 분리할 수 있다. 재질의 종류에 따라 상대적인 하전량의 차이로 전기장에서 분리되는 원리를 이용하는 것으로 플라스틱 재활용에 가장 큰 걸림돌이 되는 PVC를 효과적으로

분리할 수 있다. 여기에 다층 또는 복합 필름류는 알루미늄의 증착이나 다른 재질이 코팅이 되어 화학적 처리를 하지 않고는 분리할 수 없기 때문에 용매분리법을 이용해야 한다. 값이 비싼 용매를 사용하기 때문에 최소의 용매를 사용하고 사용 후의 용매는 다시 회수하여 재이용할 수 있도록 반응조를 설치, 운영하여 경제성을 보완하면 된다. 이상 4가지의 분리선별기술을 조합하면 생활계에서 배출되는 플라스틱류에 대해서는 완벽하게 처리할 수 있게 되어 자원순환기술의 완성으로 볼 수 있다. 이를 통해 각종 플라스틱류에 대한 사용 후의 흐름이 밝혀지고 수거체계도 제시되어 자원순환율도 제고되는 것이다. 또한 종래 소각이나 매립 처리하던 양을 대폭 줄일 수 있어 이에 따른 환경적인 문제의 해결과 고갈이 예상되는 석유자원의 확보 효과도 얻을 수 있게 된다.

우리나라가 IT 강국으로 급부상하면서 반도체, LCD 등의 몇 가지 전자제품 생산에서 세계 1위를 차지하며 가전제품, 휴대폰이나 PC 등이 방치 또는 폐기되는 양이 크게 늘어나고 있다. 이 전기, 전자제품에는 여러 종류의 자원이 함유되어 있기 때문에 도시광석(Urban Mine)으로도 불리고 있어 이들에 대한 재활용 문제가 초미의 관심사로 대두되고 있다. 그러나 국내의 경우 가전제품, 휴대폰이나 PC 등에 대해 친환경 소재 이용, 사용후 제품의 발생과 유통, 처리의 전과정에 걸쳐 효율적인 관리가 되지 못하여 이에 대한 자원순환기술도 파급이 되지 못하고 있다. 이와 같은 문제는 자원순환형 사회 구조 속에서 제품의 생산자와 소비자가 시스템에 참여하여 공동으로 해결할 수 있다. 이미 유럽연합을 비롯한 선진국들은 전자 산업발전과 환경의 상생 구도 속에서 WEEE⁵⁾, RoHS⁶⁾, EuP⁷⁾ 등 환경규제를 강화하고 모든 제품에 대한 높은 재활용율과 친환경 소재의 의무 사용율을 상향 조정하고 있다. 이를 위해서는 첫째로 해체 및 단체분리 기술이 필요하다. 물론 환경친화적인 설계와 연관이 되겠지만 파분쇄 비용을 절감하기 위해서나 후속 추출 회수공정의 효율을 높이는 데 선결 조건이 된다. 둘째는 기계적 분리와 화학적 처리기술인데 전통적인 기술의 개선으로서 에너지 저소비형, 2차 오염물

⁵⁾WEEE: Waste from Electrical and Electronic Equipment

⁶⁾RoHS: the Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment

⁷⁾EuP: Energy using Products

⁸⁾REACH: Regulation, Evaluation and Authorization on Chemicals

질 무배출 공정에 대한 보완기술이 뒤따라야 한다. 마지막으로 사용 유해물질의 처리기술로서 무해화를 통한 재활용제품의 안전성에 대한 검증이 뒷받침되어야 한다. 또한 유럽에서 화학물질을 총체적으로 규제하는 REACH⁸⁾가 발효됨에 따라 유해물질 관리가 엄격해지는 상황에서도 중요하다. 국제적으로 모든 전자제품에 대해 높은 재활용 비율을 고시하고 유해물질의 사용을 금지시켜 재활용을 쉽게 하기 위해 제품의 기획단계에서 최종적인 폐기단계까지 환경친화적인 제품을 제조하면서 이들을 무역으로 연계시키고 있다. 이는 과거의 소극적 재활용 단계에서 보다 적극적인 녹색혁명의 흐름에 뛰어들어 자원고갈에 전략적인 대비를 하고 있다는 것이다. 결국 IT 산업의 지속적인 발전을 위해서도 폐전자전기제품으로 인한 추가적인 비용부담을 덜 수 있는 자원순환기술 개발이 필수적인 것이다.

그러나 재활용에 대한 정책과 기술의 지원과 함께 우리의 자원순환사회의 인식전환이 무엇보다 중요하다. 더 이상 폐기물이 아니고 순환자원으로 생각하고 분리 배출을 생활화하고 환경처리시설을 기꺼히 수용하는 자발적인 참여와 이해로 자원순환사회의 시스템이 우리의 삶 안에서 원활히 작동할 수 있도록 하여야 한다. 이를 위해서는 일본에서 1997년부터 추진된 Eco-town 사업이 하나의 좋은 예라 생각한다. 폐기물 처리 환경산업을 집결시키는 재활용 단지를 생활 주변에 조성함으로써 자원순환사회의 모델을 우리에게 제시하고 있는 것이다. 우리도 이와 유사한 자원순환특화단지를 도시 주변에 조성하는 사업을 2006년부터 추진하고 있다. 재활용산업이 어려움을 겪고 있는 부지 문제를 해결할뿐만 아니라 필요설비를 공동 활용할 수 있는 인프라까지 형성되는 일석 삼조의 효과를 얻을 수 있다.

3. 자원순환사회 구축

자원순환사회 구축을 위한 자원재활용의 활성화에도 불구하고 아직 몇 가지가 문제점으로 제시되고 있다. 재활용 원료의 불균일성으로 제품의 고순도화 저해 및 재

활용 제품의 가치 하락의 우려, 소비시장의 변동에 따른 증장기적인 계획 및 전망이 어렵고 순환자원에 대한 위해요소 관리와 조정, 매립지 부족, 해양투기 금지, 소각처리 증가 등의 여건변화에 따른 적극적인 대응, 님비의 해소 등이 해결되어야 완벽하게 자원이 순환하는 사회체계가 형성되고 후손에게 물려줄 깨끗한 환경과 지속가능한 발전이 이루어지는 바탕이 될 것이다. 이러한 세계 흐름에 발맞춰 반드시 폐기물과 자원을 동일하게 인식하여 생산과 소비 활동에서 배출되는 폐기물을 다시 자원으로 활용함으로써 자원순환사회를 구축하여야 한다. 이러한 자원순환사회의 구축으로 폐기물의 발생을 억제하고, 자원으로 되돌리는 순환적 이용을 촉진하고, 순환적 이용을 할 수 없는 폐자원에 대해서는 적절한 처분 시스템을 확보함으로써 천연자원의 소비를 억제하고, 환경 부담을 최소화하여야 한다. 또한, 이러한 순환적 이용 과정에서 환경과 경제가 상생하는 능동적인 기술개발로 환경 부담이 없는 건전한 경제발전을 이룩하면서 지속적으로 발전을 도모해야 하는 것이다. 환경과 경제를 동시에 고려하며 무역까지 연계시켜 모든 산업을 통합적 관리 하에 지구환경 문제를 해결하려는 세계 국제사회의 강력한 요구에 대응하기 위해서는 경제, 생태, 사회적인 면을 통합적으로 아우르는 자원의 순환적 이용이 원활한 자원순환형 사회를 구축해야 한다. 이로부터 zero emission이 실현되고 님비 대신 펄비(PIMFY)*로 전환되며 쾌적한 환경을 보장 받을 수 있을 것이다. 그 결과 하나뿐인 지구, 유한한 자원을 온전히 보전하게 되며 인류는 지속적이고 건강한 삶을 누릴 수 있는 것이다.

李 康 仁



- 1975년 서울대학교 금속공학과 졸업
- 1986년 University of Utah 박사
- 1988-1999년 한국지질자원연구원 책임연구원
- 2000-현재, 과학기술부 21C프론티어 사업 자원재활용기술개발사업단장